

## Екологія

УДК 622.7

**А.В. РАДИОНОВ**

(Украина, Николаев, ООО "НПВП "Феррогидродинамика")

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ГЕРМЕТИЗАТОРОВ НА УГЛЕБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Если характеризовать предприятия различных отраслей промышленности по наиболее типичному используемому промышленному оборудованию, можно отметить, что предприятия химической промышленности – это прежде всего различные реакционные установки, крупные компрессоры, теплообменные аппараты, насосы, градирни, нефтеперерабатывающие предприятия – это ректификационные установки, аппараты воздушного охлаждения и насосы для перекачки горячих нефтепродуктов, гидролизно-дрожжевые заводы – это ферментаторы различного объема с перемешивающими устройствами. Если говорить об углеобогачительных предприятиях, то перечень характерного оборудования будет значительно шире. Это дробилки, грохоты, транспортеры, сепараторы, отсадочные машины, центрифуги, сушилки, мельницы и т.д., включая специализированные насосы для перекачки жидкости с большим количеством твердой фазы – шламовые насосы, углесосы. При этом для каждого вида перечисленного оборудования можно добавить "различных типов и конструкций", а условия работы подшипниковых узлов оборудования характеризовать как тяжелые и очень тяжелые. Долговечность и надежность работы промышленного оборудования, особенно в подобных условиях, во многом определяется надежностью уплотнений подшипниковых узлов данного оборудования.

ООО "НПВП "Феррогидродинамика" более 20 лет занимается разработкой, производством и внедрением высоконадежных уплотнений, в которых в качестве уплотняющей зазор между валом и корпусом устройства среды используется магнитная жидкость – магнитожидкостных герметизаторов (МЖГ). Продукция НПВП "Феррогидродинамика" успешно работает более чем на ста предприятиях Украины, России, Казахстана, Узбекистана, Белоруссии, Польши, Молдовы, Эстонии [1].

МЖГ имеют ряд преимуществ перед традиционными уплотнениями – практически полную герметичность при заданных условиях работы, минимальный износ вследствие чисто жидкостного трения в зазоре между подвижными и неподвижными элементами, отсутствие необходимости в смазке, низкие потери мощности, малый момент сопротивления, простоту обслуживания. К недостаткам МЖГ следует отнести проблему совместимости магнитной жидкости и уплотняемой среды. МЖГ надежно работают при уплотнении газов, паров, аэрозолей, капельной влаги, мелкодисперсных сыпучих сред, однако при уплотнении жидкостей возможно гидродинамическое перемешивание уплотняемой среды и МЖ, что будет вести к нарушению работоспособности герметизатора. При этом проблемы возникают при высоких линейных скоростях в зазоре и/или

удерживаемых перепадах давлений. Поэтому для нормальной и долговременной работы МЖГ необходимо минимизировать контакт МЖ, находящейся в зазоре между валом и концентраторами магнитного потока на полюсных накопниках МЖГ, с уплотняемой жидкой средой, для чего перед магнитожидкостным герметизатором иногда устанавливается предварительное уплотнение. Обычно МЖГ и предварительное уплотнение объединяются в единое целое в виде комбинированного уплотнения, значительно более надежного, чем входящие в него элементы, установленные отдельно [2, 3].

В качестве примера приведем несколько конструкций МЖГ, успешно работающих в сложных условиях эксплуатации, и штатных уплотнений, замененных данными герметизаторами.

Наиболее типичным примером узла, работающего в тяжелых условиях, является уплотнение поворотного редуктора выходного вала шахтного комбайна [4], на который одевается режущая фреза (шнек). Показанная на рис.1 конструкция традиционного уплотнения подшипникового узла поворотного редуктора часто применяется на комбайнах разных марок такими производителями комбайнов, как ЗАО "Горловский машиностроитель". Однако ресурс ее невелик и не удовлетворяет требованиям эксплуатации.

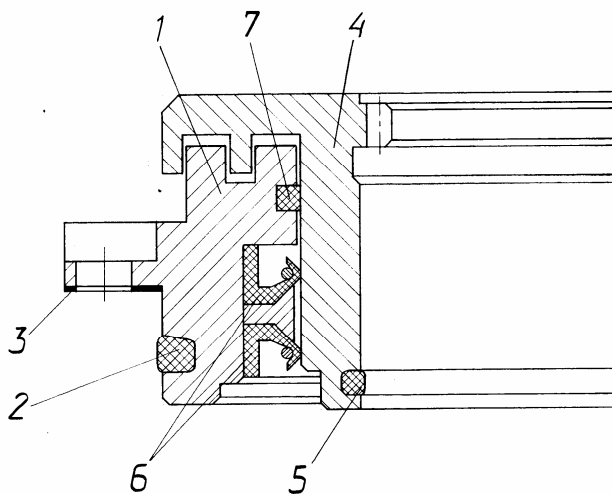


Рис. 1. Штатное уплотнение подшипникового узла поворотного редуктора шахтного комбайна

Следует отметить, что не все уплотняющие устройства хорошо работают в условиях присутствия пыли, грязи, абразивных частиц, т.е. в условиях шахты, рудника, карьера, даже при низких скоростях вращения вала. Наиболее часто используемые в качестве уплотнений резиновые армированные манжеты по ГОСТ 8752-79 неплохо работают в условиях достаточной смазки и значительно хуже – при наличии абразивных частиц. Достоинством этих уплотняющих устройств является их низкая стоимость и недефицитность. При этом в подобных условиях манжеты чаще всего устанавливаются попарно, с введением смазки в полость между манжетами. Значительно лучше в подобных условиях работают

торцевые уплотнения, которые, однако, при высокой стоимости имеют и значительные недостатки – недопустимость осевого перемещения вала из-за возможности раскрытия зазора уплотнения и необходимость обильной смазки жидким маслом. Как показал опыт, в подобных условиях хорошо работают магнито-жидкостные герметизаторы. Магнитная жидкость, используемая в них, среди прочих обладает двумя уникальными свойствами. Во-первых, магнитная жидкость втягивается в область неоднородного магнитного поля. Во-вторых, на немагнитное тело, погруженное в магнитную жидкость, находящуюся под действием неоднородного магнитного поля, действует выталкивающая сила, имеющая магнитное происхождение (магнитолевитационный эффект). Данный эффект всплывания немагнитных тел в МЖ находит широкое применение на практике. Создание выталкивающей силы заданной величины используется для разделения руд по плотностям, особенно в золотодобывающей промышленности. На базе этого эффекта создаются высокоэффективные амортизаторы левитирующего типа. В МЖГ немагнитные частицы, попадающие в рабочий зазор МЖГ, заполненный магнитной жидкостью, выталкиваются из него.

В НПВП "Феррогидродинамика" неоднократно создавались МЖГ для защиты подшипниковых узлов от пыли и абразивных частиц. Такие МЖГ устанавливались на крупных осевых вентиляторах ВОКД2,4, ВОД-30, ВОД-30М цеха пылеулавливания Запорожского алюминиевого комбината, вентиляторе флангового проветривания ВЦ-25 шахты "Юбилейная", подвесках мельниц "Раймонд" для мелкодисперсного размолва серы РГХП "Сера". По заявке ЗАО "Горловский машиностроитель" были разработаны МЖГ для выходных узлов поворотного редукторов комбайнов 1ГШ68У, РКУ10, РКУ13, УКД200-250, КПД и др. [5].

Особенностью конструкции, положенной в основу МЖГ редуктора комбайна, является значительная общая длина рабочего зазора, по которому происходит уплотнение, при сравнительно малых габаритах магнитной системы. В средней части МЖГ посередине рабочего зазора находится кольцевая полость, заполненная пористым материалом, которая выполняет функцию резервуара магнитной жидкости для пополнения ею рабочего зазора. Уплотнение в данном МЖГ происходит не по защищаемому валу, а по кольцевому гребню на фланце втулки узла, входящему в кольцевой паз на торцевой поверхности крышки подшипникового узла, при этом магнитное поле магнитной системы замыкается через заполненные магнитной жидкостью рабочие зазоры между магнитопроводами и кольцевым гребнем. Лабиринтное уплотнение между поверхностями крышки подшипникового узла и фланцем втулки выполняет функции предварительного уплотнения.

На рис. 2 показана конструкция герметизатора для комбайнов РКУ10 производства ЗАО "Горловский машиностроитель".

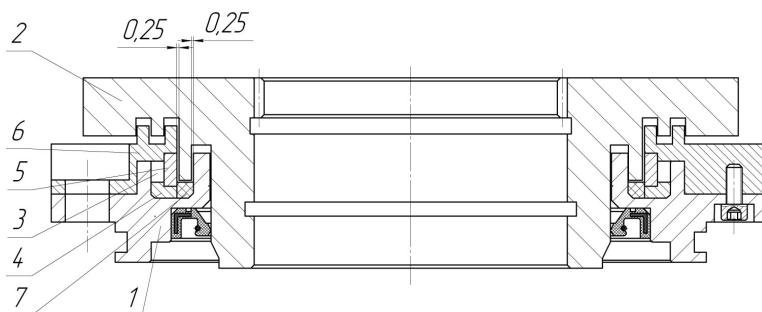


Рис. 2. МЖГ комбайна РКУ10

МЖГ состоит из крышки 1 и втулки 2 с фланцем. Крышка закрывает подшипниковый узел. Внутри крышки размещена магнитная система из высокоэнергетических постоянных магнитов 3, разделительного немагнитного кольца 4 и магнитопровода 5, закрытая немагнитной накладкой 6 с кольцевым пазом на торцевой поверхности. Кроме накладки, на верхней стороне крышки имеется кольцевая полость, образуемая магнитопроводом 5 магнитной системы и внутренней цилиндрической частью крышки, выполняющей функцию второго магнитопровода. На дне кольцевой полости размещено войлочное кольцо 7, пропитанное магнитной жидкостью и служащее ее резервуаром. Рабочие зазоры в данном МЖГ равны 0,25 мм. Поскольку смазка подшипников поворотного редуктора осуществляется жидким маслом, резиновая армированная манжета сохранена.

МЖГ подшипниковых узлов поршневого компрессора сжатого воздуха ОАО "Укртатнафта". Конструкция штатного уплотнения и МЖГ показана на рис 3.

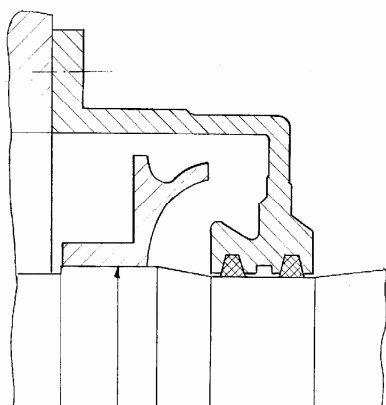


Рис. 3. Штатное уплотнение

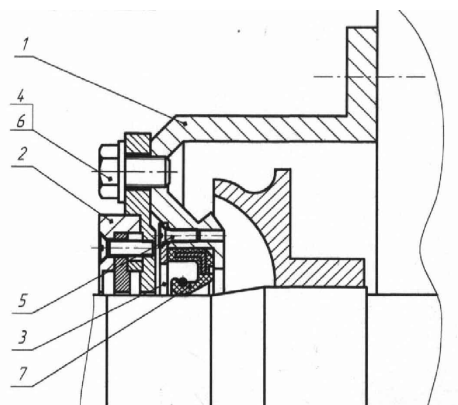


Рис. 4. Герметизатор компрессора

Подшипниковые узлы компрессора обильно смазываются жидким смазочным маслом, и штатное двойное сальниковое уплотнение работает недостаточно эффективно.

Герметизатор узла выхода вала компрессора сжатого воздуха (рис. 4) представляет собой цилиндрическую конструкцию, состоящую из собственно МЖГ

## **Екологія**

и промежуточного кожуха с фланцем, устанавливаемую взамен штатного сальникового уплотнения. Промежуточный кожух 1 с фланцем  $\varnothing 490$  мм устанавливается на картер компрессора при помощи штатных болтов. На торцевой поверхности кожуха имеются 10 отверстий М12 для крепления МЖГ 2 и кольцевая полость, в которой размещается разрезаемая при монтаже армированная манжета 7, выполняющая функции предварительной ступени уплотнения. МЖГ 2 закрепляется на торцевой поверхности кожуха болтами 4. МЖГ состоит из фланца с размещенной на нем магнитной системой из магнитов Nd-Fe-B, замыкающего к ним полюсного наконечника, немагнитного проставочного кольца и немагнитного корпуса. Роль второго полюсного наконечника выполняет внутренний участок фланца. На обращенных к поверхности вала поверхностях фланца МЖГ и полюсного наконечника нарезаны кольцевые зубцы с канавками между ними.

Магнитожидкостные герметизаторы производства ООО "НПВП "Феррогидродинамика" устанавливались также на подшипниковых узлах водяных насосов типа Д (Д3200-75 и Д4000-95) и ЦН-1000 на ОАО "Линос".

На этих насосах рабочее колесо размещено посередине вала, который установлен в двух подшипниковых узлах. В качестве уплотнений рабочего колеса используются сальниковые уплотнения, которые даже в нормальном режиме не являются герметичными и должны пропускать воду по валу для охлаждения и смазки сальника. При износе сальника количество пропускаемой воды становится больше и она по валу попадает к подшипниковым узлам. Остановить насос для обслуживания не всегда представляется возможным, особенно в летнее время, когда потребность в воде высока, а резервирование мощности насосов в насосных минимально. В качестве штатных уплотнений подшипниковых узлов используются канавочные уплотнения (чаще всего) либо лабиринтное уплотнение с отбойным кольцом, плотно одетым на вал.

При этом на одних насосах уплотнения выполнены как элемент литого корпуса (иногда разъемного) подшипникового узла, на других – в виде съемной крышки подшипникового узла, иногда цельной, иногда разъемной для возможности демонтажа без снятия подшипникового узла насоса (и вала). Иногда в корпус уплотнения вставляют пластиковое кольцо, обрабатываемое с минимальным зазором по валу – чтобы исключить контакт вала с металлическим корпусом уплотнения. Канавки уплотнений заполняются пластичной смазкой. Подобные уплотнения могут защитить только от пыли, но в случае течи воды по валу вода через зазор уплотнения попадает внутрь подшипникового узла, разрушает смазку, начинается коррозия подшипников. Срок службы подшипников резко сокращается.

Конструкции МЖГ подшипниковых узлов насосов типа Д показаны на рис. 5, 6.

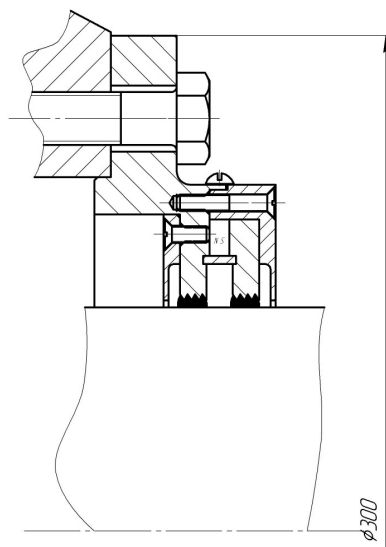


Рис. 5. МЖГ насоса Д4000-95

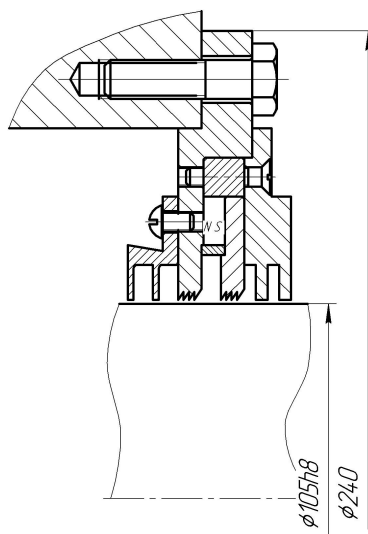


Рис. 6. МЖГ насоса Д3200-75

МЖГ насоса Д4000-95 выполнен цельным, в габаритах штатного уплотнения, герметизатор насоса Д3200-75 выполнен разрезным для возможности монтажа без разборки насоса.

МЖГ насоса Д4000-95 и Д3200-75 представляют собой магнитную систему, состоящую из набора постоянных магнитов и магнитопроводов. Один из магнитопроводов является частью корпуса МЖГ. С торцов МЖГ закрыты немагнитными крышками. В верхней части выполнено заправочное отверстие, закрываемое винтом М5 для дозаправки магнитной жидкости без демонтажа МЖГ. За время эксплуатации МЖГ показали себя более надежными, чем штатные уплотнения подшипниковых узлов.

Ниже приведены конструкции уплотняющих устройств подшипниковых узлов оборудования, типичного для углеобогатительных фабрик, и показаны возможности установки на этих местах магнитожидкостных герметизаторов.

Сепаратор электромагнитный.

В состав сепараторов электромагнитных ЭБМ-80/170П и ЭБМ-90/250 входит электромагнитный барабан, заполняемый трансформаторным маслом. Ось барабана с катушками и полюсами установлена в кожухе барабана на двух подшипниковых узлах. С одной стороны барабана подшипниковый узел глухой (подшипник ПКУ-180), с другой стороны ось барабана выходит из подшипникового узла, закрываемого штатным уплотнением. Штатное уплотнение с одной стороны предотвращает попадание внутрь подшипникового узла частиц породы, грязи, влаги и т.п., с другой стороны – предотвращает вытекание трансформаторного масла из внутренней полости кожуха барабана.

Конструкция штатного уплотнения показана на рис. 7, барабана – на рис. 8.

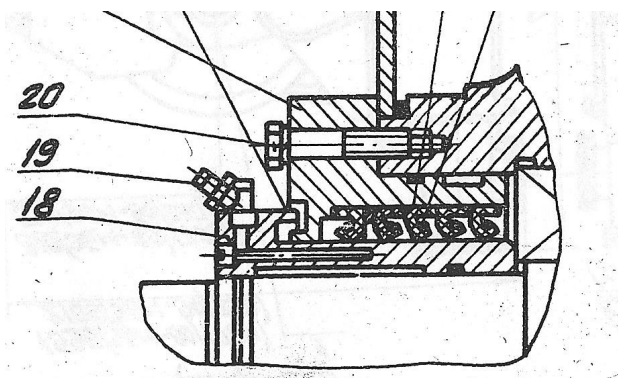


Рис. 7. Штатное уплотнение барабана

Штатное уплотнение подшипникового узла состоит из двух втулок – внутренней, одеваемой на ось барабана, и наружной, вставляемой в ступицу боковой крышки барабана и закрепляемой на ней болтами М12. Уплотнение узла осуществляется при помощи набора резиновых армированных манжет, которые размещаются во внутренней полости наружной втулки. Внутри тела внутренней втулки имеется канал для подвода смазки ИЛи 5/9-2 ГОСТ 8773-73 к манжетам при помощи шприца. Лабиринтный зазор между торцевыми поверхностями втулок уплотнения также заполняется смазкой. Герметизация зазоров между внутренней втулкой и осью барабана и между наружной втулкой и ступицей обеспечивается при помощи резиновых колец.

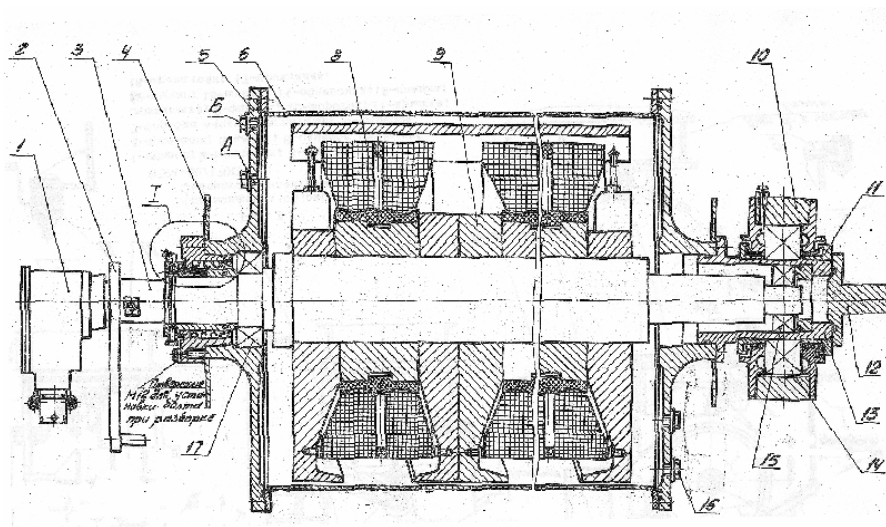


Рис. 8. Барабан электромагнитный

Проблема при эксплуатации состоит в попадании абразивных частиц и влаги внутрь подшипникового узла и вытекании трансформаторного масла из внутренней полости кожуха барабана наружу.

Как по задачам, так и конструктивно штатное уплотнение сепаратора подобно штатному уплотнению поворотного редуктора шахтного комбайна. По-

этому представляется целесообразным использовать подобный МЖГ для защиты подшипникового узла барабана сепаратора. Конструкция МЖГ барабана сепаратора показана на рис. 9. МЖГ состоит из двух частей – внутренней и наружной втулок, последняя является корпусом МЖГ, в котором размещена магнитная система. Уплотнение осуществляется по цилиндрическому гребню внутренней втулки, одетой на вал. Две – три резиновые армированные манжеты необходимо сохранить (на рисунке показаны все штатные манжеты).

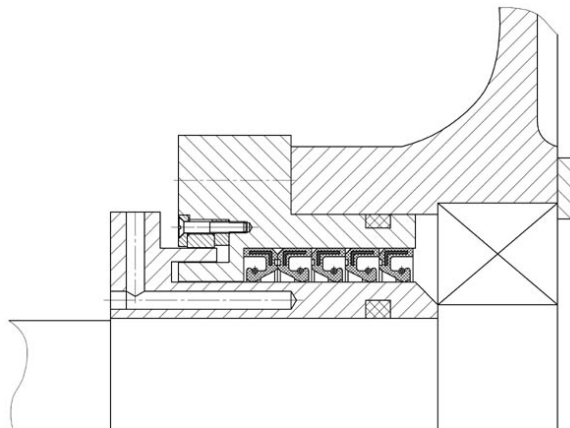


Рис. 9. МЖГ подшипникового узла барабана сепаратора

Вакуумный водокольцевой насос КВН-50/1,5.

В водокольцевом насосе корпус насоса частично заполняется водой, образующей при работе насоса водяное кольцо, в которое погружены лопатки ротора насоса. Поэтому уплотнение вала ротора насоса выполняет две задачи – в стояночном режиме предотвращает вытекание воды из корпуса насоса, в рабочем режиме предотвращает попадание атмосферного воздуха внутрь корпуса насоса. Уплотнения расположены с двух сторон насоса.

Конструкция штатного уплотнения насоса показана на рис. 10. В данном насосе используются сальниковые уплотнения с сальниковой набивкой.

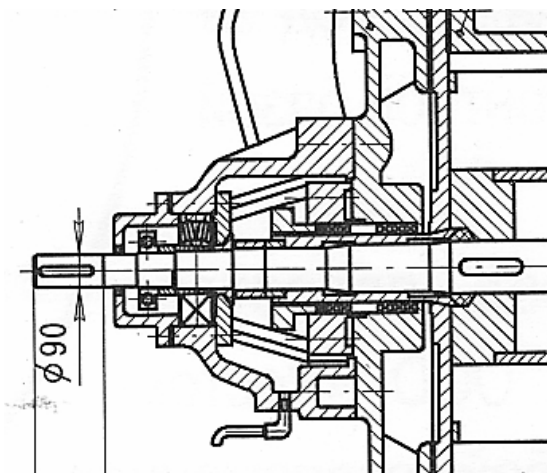


Рис. 10. Штатное уплотнение водокольцевого насоса КВН-50/1,5



Уплотнение состоит из корпуса, который крепится к боковой крышке корпуса насоса, и грундбуксы. В центральной части крышки корпуса насоса имеется полость для сальниковой набивки, являющаяся продолжением аналогичной полости в корпусе уплотнения. Уплотнение узла происходит по поверхности втулки, одетой на вал. Необходимая степень поджатия набивки регулируется грундбуксой.

Проблема при эксплуатации водокольцевого насоса состоит в недостаточном уплотнении вакуума при работе насоса и в подтекании воды из уплотнений в стояночном режиме.

Конструкция МЖГ вакуумного водокольцевого насоса КВН-50/1,5 показана на рис.11.

МЖГ насоса устанавливается на месте штатного уплотнения. МЖГ состоит из немагнитного корпуса, стальных полюсных наконечников с магнитами между ними и немагнитной крышки. Рабочий зазор между втулкой, одетой на вал насоса, и полюсными наконечниками с концентраторами магнитного потока заполняется магнитной жидкостью, удерживаемой магнитным полем. Для предотвращения контакта воды, находящейся в корпусе насоса, с магнитной жидкостью в корпусе МЖГ установлены резиновые армированные манжеты. Штатная сальниковая набивка может быть убрана.

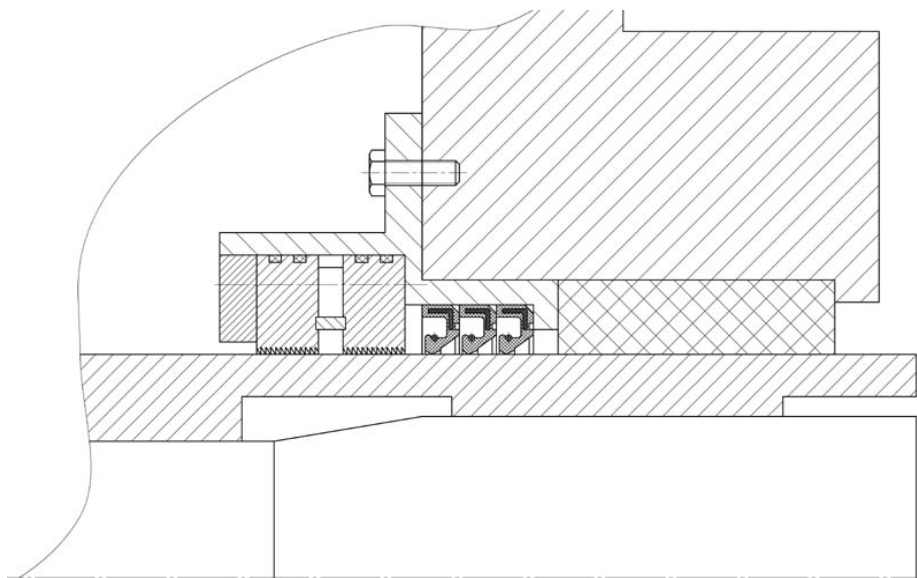


Рис.11. МЖГ водокольцевого насоса КВН-50/1,5

Центробежный шламовый насос ШН 1000-45.

Конструкция насоса показана на рис. 12. Вал насоса с четырьмя попарно установленными подшипниками №316 устанавливается в корпусе насоса (кронштейне).

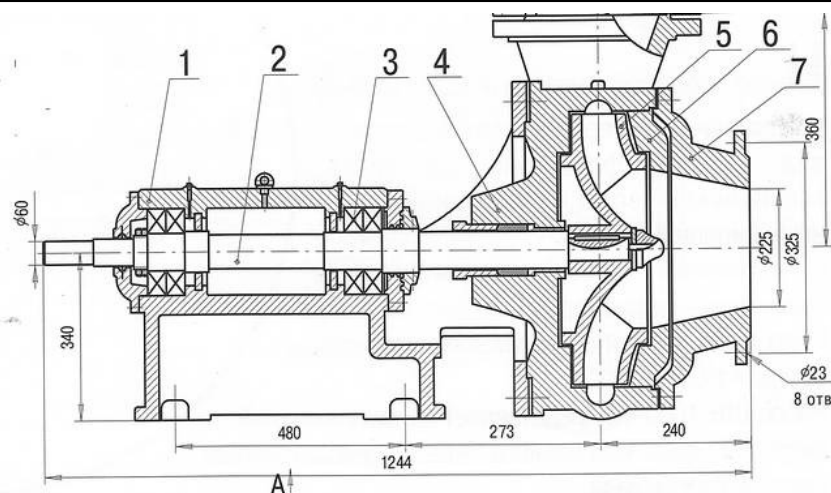


Рис. 12. Центробежный шламовый насос ШН 1000-45

Подшипниковые узлы закрываются крышками, сквозь которые проходит вал. В крышке заднего подшипникового узла (со стороны муфты) установлено сальниковое уплотнение (войлочное сальниковое кольцо).

Уплотнение переднего подшипникового узла (со стороны рабочего колеса) выполнено комбинированным, состоящим из сальникового (войлочного кольца, размещенного в крышке) и лабиринтного уплотнений. Радиальный лабиринт образуется между торцевыми поверхностями крышки подшипника и отбойного кольца, закрепленного на валу вблизи крышки. Выступы на поверхности отбойного кольца входят в кольцевые канавки на поверхности крышки. Лабиринт, как и подшипниковые узлы, заполняется пластичной смазкой.

Проблема при эксплуатации шламового насоса состоит в недостаточном уплотнении переднего подшипникового узла насоса и в попадании воды из подгрудбоксы по валу к подшипникам.

Конструкция МЖГ подшипникового узла центробежного шламового насоса ШН 1000-45 на рис. 13.

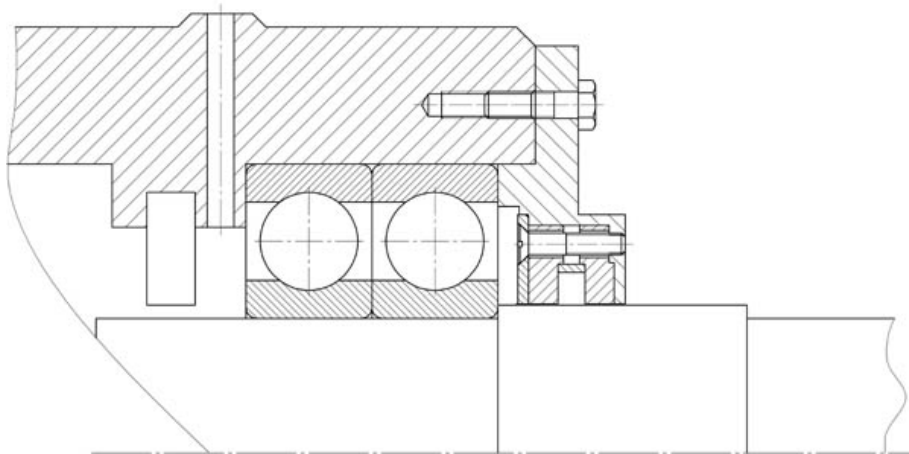


Рис. 13. МЖГ шламового насоса ШН 1000-45

МЖГ состоит из немагнитного корпуса, стальных полюсных наконечников с магнитами между ними, немагнитных крышки, проставки между полюсными наконечниками и винтов. Уплотнение в МЖГ осуществляется по валу насоса – рабочий зазор между поверхностью вала насоса и полюсными наконечниками с концентраторами магнитного потока заполняется магнитной жидкостью, удерживаемой магнитным полем.

Центробежный горизонтальный насос с двухсторонним подводом жидкости Д1250-65.

Конструкция насоса показана на рис. 14. Подшипниковые узлы расположены с двух сторон рабочего колеса и закрываются крышками с лабиринтными уплотнениями. Перед уплотнениями на валу насоса закреплены отбойные кольца.

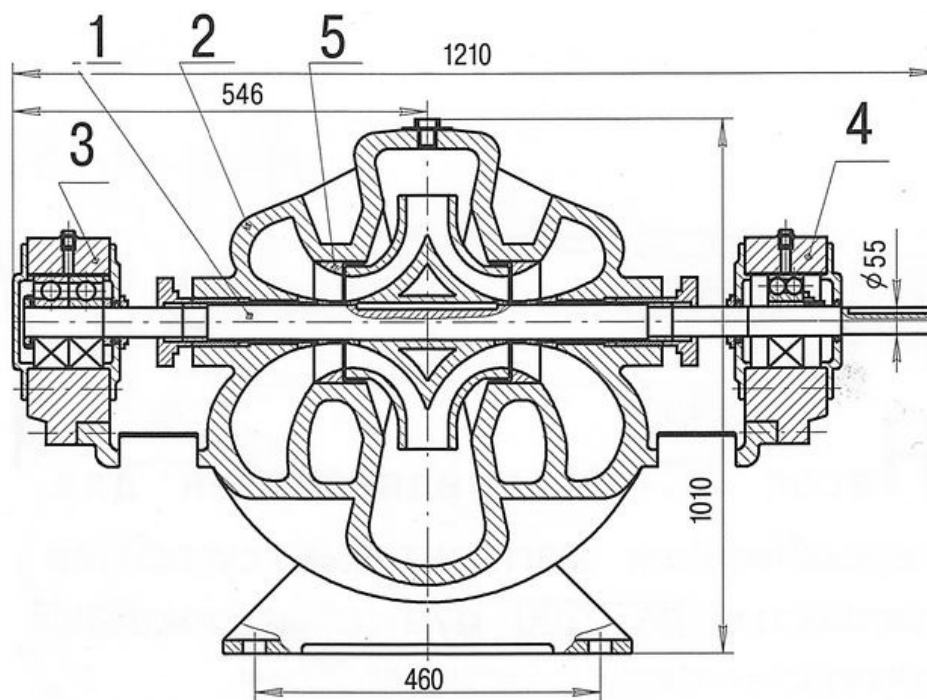


Рис. 14. Центробежный насос Д1250-65

Проблема при эксплуатации насоса состоит в недостаточном уплотнении подшипниковых узлов насоса и в попадании воды из-под грундбукс по валу к подшипникам.

Конструкция МЖГ подшипникового узла центробежного насоса Д1250-65 показана на рис.15.

МЖГ представляет собой цилиндрическую конструкцию с фланцем и отверстием в центре для прохода уплотняемого вала. Герметизатор состоит из стального корпуса с фланцем, магнитной системы и внутреннего лабиринта. Магнитная система в свою очередь состоит из набора постоянных магнитов, магнитопроводов, немагнитного кольца и наружной немагнитной крышки.

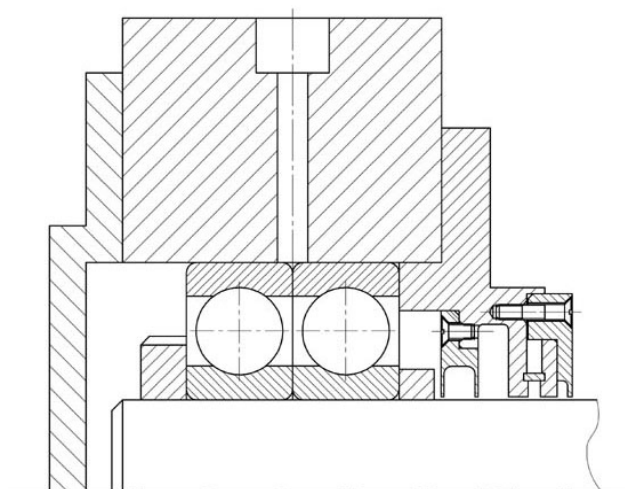


Рис. 15. МЖГ центробежного насоса Д1250-65

Один из магнитопроводов является частью корпуса МЖГ. Лабиринт предотвращает попадание смазки из подшипникового узла к МЖ, находящейся в рабочем зазоре. Уплотнение в МЖГ, как и в предыдущем случае, осуществляется по валу насоса – рабочий зазор между поверхностью вала насоса и полюсными наконечниками с концентраторами магнитного потока заполняется магнитной жидкостью, удерживаемой магнитным полем.

Центробежные насосы производства фирмы CH WARMAN PUMP.

В консольных центробежных насосах Варман подшипниковый узел, в который входят вал насоса, подшипники, корпус подшипникового узла, уплотнения подшипников, выполнен в виде отдельного съемного блока (см. рис. 16), который крепится на раме насоса. Так как производитель выпускает широкий размерный ряд в общем сходных по конструкции насосов (восемь размеров рам насосов, частота вращения вала от 200 до 3000об/мин для каждого размера, количество смазки в подшипнике от 20 до 1150г), размеры уплотнений подшипников различны. Конструкции уплотнений подобны и отличаются в мелких деталях.

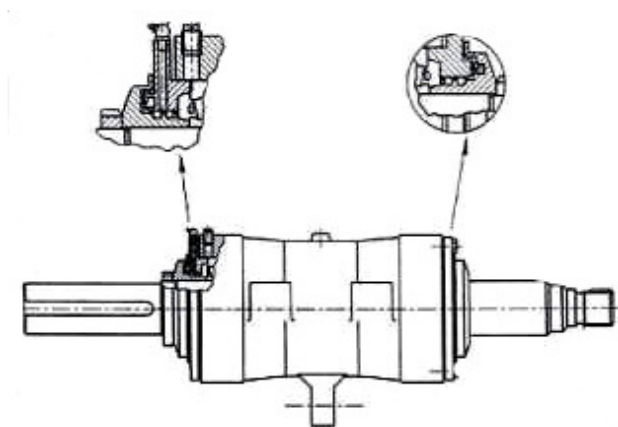


Рис. 16. Подшипниковый узел насоса Варман с уплотнениями

Штатное уплотнение подшипника лабиринтное, с радиальным и аксиальным лабиринтами и состоит из торцевой крышки и втулки. На наружной цилиндрической и торцевой поверхностях втулки, образующих зазор с торцевой крышкой, выполнены выступы и канавки для удержания пластичной смазки, заполняющей лабиринтный зазор.

Проблема при эксплуатации насоса состоит в недостаточном уплотнении подшипников насоса и в попадании воды и грязи в подшипники.

В связи с отсутствием точных размеров узла рисунок конструкции МЖГ не приводится. Создание МЖГ возможно. МЖГ узла будет состоять из двух частей – собственно МЖГ, выполненного в габаритах и с посадочными размерами штатной торцевой крышки, и аналогичной штатной лабиринтной втулки. При этом уплотнение в МЖГ будет происходить либо по цилиндрической поверхности втулки, аналогично показанному на рис. 11 (для малых насосов), либо по цилиндрическому гребню втулки, входящему в кольцевой паз на торцевой поверхности МЖГ, аналогично показанному на рис. 9 (для крупных насосов).

В качестве выводов хотелось бы отметить следующее.

Создание МЖГ подшипниковых узлов вышеперечисленного оборудования возможно в габаритах штатных уплотнений.

МЖГ для подобных и более жестких условий эксплуатации изготавливались неоднократно и показали высокую эффективность.

### Список литературы

1. Радионов А.В., Виноградов А.Н., Веревкин В.Н. Магнитожидкостные герметизаторы на химических заводах: опыт внедрения и перспективы // Химическая техника. – 2003. – №1. – С. 28-31.
2. Радионов А.В., Виноградов А.Н. Комбинированные высокоскоростные магнито-жидкостные герметизаторы взамен бесконтактных уплотнений подшипников скольжения // Химическая техника. – 2008. – №12. – С. 14-17.
3. Радионов А.В., Виноградов А.Н. Комбинированные высокоскоростные магнито-жидкостные герметизаторы – эффективная альтернатива бесконтактным уплотнениям подшипниковых узлов с жидкой смазкой // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2008. – Вип. 35(76). – С. 148-154.
4. Радионов А.В., Виноградов А.Н., Мельниченко А.А., Магнитожидкостные герметизаторы выходных валов для поворотных редукторов комбайнов // Уголь Украины. – 2005. – №2. – С. 25-31.
5. Радионов А.В., Виноградов А.Н. Особенности разработки магнитожидкостных герметизаторов для уплотнения сыпучих абразивных сред // Химическая техника. – 2006. – №9(16). – С. 16-18.

© Радионов А.В., 2010

*Надійшла до редколегії 17.04.2010 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*